

**С. Ю. ШЕВЧЕНКО** канд. техн. наук, профессор НТУ «ХПИ».

**Б. Ф. ЕРМОЛЕНКО** зав. лаб. НТУ «ХПИ»

**Д. О. ДАНИЛЬЧЕНКО** ассистент НТУ «ХПИ»

**С. И. ДРИВЕЦКИЙ** ассистент НТУ «ХПИ»

### **ПОРАЖАЕМОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ЗАЩИЩЕННЫМИ ПРОВОДАМИ ГРОВОИМИ РАЗРЯДАМИ**

Целью статьи является определение, экспериментальным путем на крупномасштабных моделях, вероятности прямого удара молнии в ВЛ с защищенными проводами при различных конфигурациях моделей. Результаты экспериментов позволили опровергнуть гипотезу об отсутствии прямых ударов в защищенные провода воздушных линий. Проведенные исследования позволяют предположить, что грозопоражаемость воздушных линий с защищенными проводами существенно ниже грозопоражаемости линий традиционного исполнения.

**Ключевые слова:** молниезащита, прямой удар молнии, распределительные сети, защищенные провода

**Постановка проблемы.** Качество обеспечения потребителей электроэнергией непосредственно зависит от надежности работы распределительных электрических сетей, которые являются ключевым звеном в системе электроснабжения. Для повышения эффективности, технического уровня и безопасности распределительных сетей необходимо использование новых научно обоснованных технических решений и технологий. Одной из основных причин аварий и нарушений в распределительных сетях являются грозовые перенапряжения на воздушных линиях (ВЛ), вызывающие импульсные перекрытия, разрушения изоляторов, приводящие к дуговым замыканиям, сопутствующим повреждениям оборудования и отключениям линий. Однако, действовавшие нормы не предусматривали какой-либо специальной защиты от грозовых перенапряжений ВЛ с неизолированными проводами напряжением до 20 кВ, за исключением случаев защиты отдельных точек ВЛ с ослабленной изоляцией или с повышенными требованиями по надежности.

Такое состояние вопроса грозозащиты распределительных ВЛ было следствием исторически сложившегося признания неизбежности их грозовых аварийных отключений и повреждений в силу отсутствия

© С. Ю. Шевченко, Б. Ф. Ермоленко, Д. О. Данильченко, 2015

эффективных и экономически доступных технических средств. Однако с началом массового применения на распределительных ВЛ защищенных проводов возникла необходимость принятия обязательных технических мер по их грозозащите.

**Анализ публикаций.** Особенностью проблемы грозозащиты защищенных воздушных линий (ВЛЗ) является то, что в случае отсутствия специальных мер, при грозовом перекрытии изолятора линии, сопровождаемом пробоем твердой изоляции провода, образующаяся с большой вероятностью дуга промышленной частоты не имеет возможности перемещаться по проводу (как при голых проводах) и горит в месте пробоя изоляции до момента отключения линии [1,3]. Это может привести к порче изоляции провода, повреждению изолятора линии и к перегосу провода, что подтверждается опытом эксплуатации линий с изолированными проводами. Поскольку на линии с неизолированными проводами дуга под воздействием электродинамических сил способна перемещаться одним из своих концов вдоль провода, фактор повреждения провода вследствие теплового воздействия дуги был малозначим и никак не влиял на формирование концепции грозозащиты ВЛ. В случае же ВЛЗ предотвращение перегоса провода становится главным условием, определяющим необходимость обязательного применения тех или иных грозозащитных мер [2].

**Цель статьи.** Определение, экспериментальным путем на крупномасштабных моделях, вероятности прямого удара молнии в ВЛ с защищенными проводами при различных конфигурациях моделей..

**Метод решения.** Исследование и разработка способов и устройств, которые бы предотвращали перегос проводов при воздействиях перенапряжений, на сегодня являются востребованными в Украине в связи с тем что техническая политика в области электроэнергетики предусматривает масштабное использование защищенных проводов при новом строительстве и реконструкции линий электропередачи. В связи с этим группа специалистов Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» совместно с фирмой «СИКАМ Украина» приступила к исследованиям возможности повышения грозоупорности линий с защищенными проводами.

В некоторых литературных источниках высказывается предположение, что вероятность прямого удара в провод ВЛЗ отсутствует. Для проверки этой гипотезы были выполнены экспериментальные исследования вероятности удара молнии в провод

ВЛЗ для различных условий. В лаборатории сверхвысоких напряжений кафедры «Передача электрической энергии» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» была создана модель ВЛ позволяющая смоделировать линию с голыми или защищенными проводами. Эта модель дает возможность выполнить эксперименты для определения вероятности прямого удара молнии в ВЛЗ и ВЛ при различных геометрических параметрах линий. В качестве источника высокого напряжения использовался генератор импульсных напряжений (ГИН) с максимальным напряжением 2.4 МВ, внешний вид которого приведен на рисунке 1.

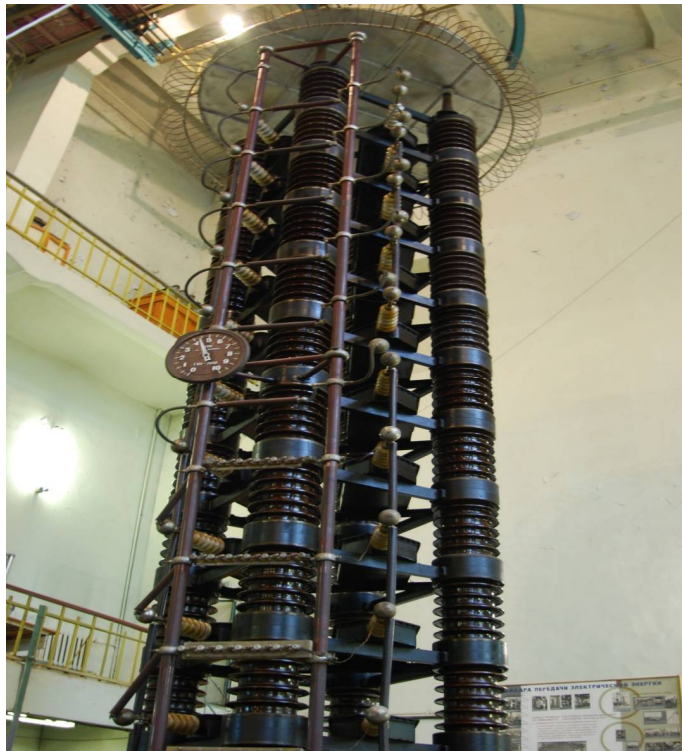


Рис. 1 – Генератор импульсных напряжений 2,4 МВ.

Общий вид модели приведен на рисунке 2.

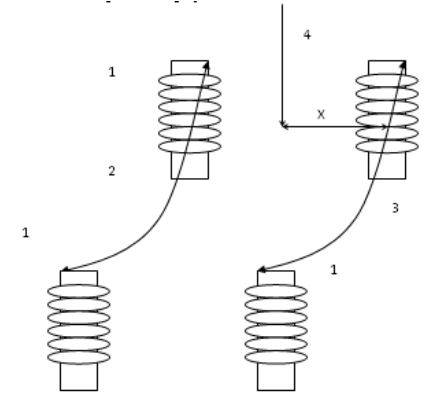


Рис. 2 – Общий вид модели. 1 опорный изолятор, 2 голый провод, 3 защищенный провод, 4 электрод имитирующий молнию, X расстояние от электрода имитирующего молнию до защищенного провода .

Высота ориентировки лабораторной искры может быть определена исходя из того, что высота ориентировки молнии при высотах объектов поражения до 30 метров составляет  $5h_d$  [5]. Поэтому высота ориентировки лабораторной искры определяется как:

$$h_m = 5h_d / 30 = 1,3 \text{ м}$$

где,  $h_m$  - модельная высота подвеса провода;

$h_d$  – высоты до точки подвеса проводов

В первой серии экспериментов было выполнено сравнение вероятности прямого удара молнии в провода, для линий на которых одновременно подвешены и защищенные и голые провода. Параметры модели имели следующие значения: электрод находился на высоте 1,3 метра от поверхности «земли», на высоте 20 см от поверхности «земли» были подвешены изолированный и голый провод, на расстояние 90 см друг от друга, электрод имитирующий молнию устанавливался строго посередине между проводами. По результатам 100 опытов все разряды пришлись в голый провод. Такой результат позволяет сделать вывод о повышенной грозоупорности линий с защищенными проводами.

Вторая серия экспериментов была выполнена на аналогичной модели линий на которых одновременно подвешены и защищенные и голые провода. Основным отличием этой серии экспериментов было то, что электрод имитирующий молнию устанавливался на расстоянии

30 см от защищенного и 60 см от голого. Такое расположение электрода имитирующего молнию позволяет исследовать вероятность прямого удара в провода линий при возникновении канала молнии в произвольном месте пространства. Параметры модели имели те же значения, что и в первой серии экспериментов. Было выполнено четыре серии экспериментов по 100 опытов в каждой, полученные результаты выглядят следующим образом, в двух сериях экспериментов, 70 ударов пришлось в голый провод и 30 ударов в защищенный, в одной 68 ударов в голый провод и 32 в защищенный и в последней 73 в голый провод и 27 в защищенный. Из полученных результатов видно что вероятность прямого удара в защищенный провод составляет 30% от общего количества ударов. При расположении электрода имитирующего молнию вне плоскости модели появляются разряды в землю, что подтверждает правильность выбора параметров модели.

В третьей серии экспериментов было выполнено сравнение вероятности прямого удара молнии для линий на которых одновременно подвешены и защищенные и голые провода. Параметры модели были аналогичны первым двум экспериментам. А электрод имитирующий молнию устанавливался строго над защищенным проводом. Было выполнено 5 серий по 100 опытов каждая. В двух из них вероятность прямого удара в защищенный провод составила 50% от общего количества ударов, в последующих сериях вероятность колебалась в пределах 47 – 51 %.

В четвертой серии экспериментов определялась вероятность удара молнии в защищенный провод при равенстве расстояний от провода до электрода имитирующего молнию и от указанного электрода до земли. Высота подвеса электрода и провода были теми же, что и в предыдущих экспериментах. Было проведено четыре серии по 100 опытов каждая. Вероятность удара в защищенный провод изменялась в пределах от 26% до 32% от общего количества ударов.

При выполнении пятой серии экспериментов определялась вероятность удара молнии в голый провод при равенстве расстояний от провода до электрода имитирующего молнию и от указанного электрода до земли. Высота подвеса электрода и провода были теми же, что и в предыдущих экспериментах. Было проведено 3 серии по 100 опытов каждая. Вероятность удара в голый провод изменялась в пределах от 70% до 72% от общего количества ударов.

**Обсуждение результатов.** В процессе проведения экспериментов была выявлена отличная от нуля вероятность

поражения защищенного провода, что опровергает гипотезу о невозможности прямого удара в такой провод. При условии расположения электрода имитирующего молнию строго посередине между голым и защищенным проводами, не были зафиксированы разряды в защищенный провод модели. В случае смещения электрода имитирующего молнию в сторону защищенного провода увеличивается вероятность его поражения. Если электрод имитирующий молнию расположен ближе к защищенному проводу чем к голому (в опыте расстояние от голого провода до оси электрода составляло 70% от общего), защищенный провод поражен с вероятностью 30%. Самым тяжелым случаем, с точки зрения поражаемости провода был случай расположения электрода имитирующего молнию над защищенным проводом. Защищенный провод поражен с вероятностью 50%. При расположении электрода имитирующего молнию на равных расстояниях от защищенного провода и электрода имитирующего молнию вероятность поражения провода приблизительно равна 30%, а при такой же конфигурации модели для голого провода вероятность его поражения равна 70%. Такие результаты дают возможность предположить, что защищенные провода будут подвержены прямым ударам молнии в два раза реже чем голые. Это позволит существенно увеличить расчетную грозоупорность линий с защищенным проводом. На основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод что, зона захвата голого провода в 3 раз превышает зону захвата защищенного провода. Этот факт иллюстрирует существенное снижение расчетной площади с которой вероятны прямые удары молнии в линию с защищенными проводами. Указанная площадь, наряду с количеством грозových часов и протяженностью линии, используется при расчетах числа прямых ударов молнии в линию  $N_{\text{пум}}$ . Ее снижение приводит к пропорциональному уменьшению расчетного  $N_{\text{пум}}$  и соответственно к увеличению грозоупорности линии с защищенными проводами.

#### **Выводы.**

1. Результаты экспериментов позволили опровергнуть гипотезу об отсутствии прямых ударов в защищенные провода воздушных линий.

2. Проведенные исследования позволяют предположить, что грозопоражаемость воздушных линий с защищенными проводами существенно ниже грозопоражаемости линий традиционного исполнения.

3. Полученные результаты указывают на необходимость проведения дальнейших исследований грозопоражаемости воздушных линий с защищенными проводами.

**Список літературы.** 1. Г. В. Подпоркин Современная грозозащита распределительных воздушных линий 6, 10 кВ длинно-искровыми разрядниками, / Г. В. Подпоркин, А. Д. Сиваев // – 2006. – Электро. – №1. С. 15 – 18. 2. Г. В. Подпоркин Защита компактных ВЛ 10 кВ от грозовых индутированных перенапряжений, / Г. В. Подпоркин, В. Е. Пильщиков, А. Д. Сиваев // Энерго-инфо. – 2007, – №. 4. С. 12-15. 3. Г. В. Подпоркин Система защиты ВЛ 35 кВ с защищенными проводами от грозовых перенапряжений и их пережога, / Г. В. Подпоркин, Е. С. Калакутский // Энергетик. – 2006. – №10. – с. 19-22. 4. Александров Г.Н., Исследование грозопоражаемости воздушных линий на крупномасштабных моделях. / Александров Г.Н., Подпоркин Г.В., Лысков Ю.И., Шевченко С.Ю. // Электричество. – 1991. – №1. С.35 - 38. 5. Базелян Э.М. Инженерные и физические основы молниезащиты. / Базелян Э.М. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с

**Bibliography (transliterated):** 1. G. V. Podporkin, A. D. Sivaev Sovremennaja grozozashhita raspredelitel'nyh vozdushnyh linij 6, 10 kV dlinno-iskrovymi razrjadnikami, *Jelektro*, 2006, No. 1. 15 -18 Print. 2. G. V. Podporkin, V. E. Pil'shhikov, A. D. Sivaev Zashhita kompaktnyh VL 10 kV ot grozovyh induktirovannyh perenaprjazhenij, *Jenergo-info*. 2007. No. 4. 12-15 Print. 3. G. V. Podporkin, E. S. Kalakutskij Sistema zashhity VL 35 kV s zashhishhjonnyimi provodami ot grozovyh perenaprjazhenij i ih perezhoga, *Jenergetik*, 2006, No. 10, 19-22. Print. 4. Aleksandrov G.N., Podporkin G.V., Lyskov Ju.I., Shevchenko S.Ju. Issledovanie grozoporazhaemosti vozdushnyh linij na krupnomasshtabnyh modeljah. *Jelektrichestvo* 1991, No.1. 35-38 Print. 5. Bazeljan Je.M *Inzhenernye i fizicheskie osnovy molniezashhity*. Moscow Jenergoatomizdat, 1986. Print

*Поступила (received) 29.04.2015*